

## CATAMARAN형 함정의 수중통신기 음향창 적용에 관한 연구

조규룡<sup>1</sup> · 임시온<sup>2</sup> · 서대수<sup>3</sup> · 황철우<sup>4</sup> · 서형필<sup>†</sup>

(Received March 28, 2018 ; Revised May 15, 2018 ; Accepted August 29, 2018)

### A study on implementation of underwater telephone acoustic window for naval catamaran vessel

Kyu-Lyong Cho<sup>1</sup> · Si-On Yim<sup>2</sup> · Dae-Su Seo<sup>3</sup> · Cheol-Woo Hwang<sup>4</sup> · Hyeong-Pil Seo<sup>†</sup>

**요약:** 본 논문은 쌍동선 선체를 갖는 다목적훈련지원정(MTB)에 수중통신기 트랜스듀서를 4개로 분리 설치하기 위한 선체 음향창 적용 방법을 연구하였다. 유체역학적 해석결과를 고려하여 수중통신용 트랜스듀서 설치 방안을 도출하였으며, 선형에 맞는 음향창 시편을 제작하였다. 음향창은 비파괴시험, 최대강도 등 기계적 성능과 음향 투과손실 측정을 통해 적용 가능성을 확인하였고, 수중통신기를 음향창이 적용된 함정에 설치 후 성능시험을 수행하여 요구 성능에 충족한 것을 확인하였다. 이 논문은 쌍동선 함정의 음향창 내부에 수중통신기 센서를 분리 설치한 최초의 사례로서 의의가 있다.

**주제어:** 쌍동선, 수중통신기, 트랜스듀서, 음향창, 투과손실

**Abstract:** In this study, the method of applying a hull acoustic window is investigated for the separate installation of four transducers of an underwater telephone in a catamaran multi-purpose training boat (MTB). The transducer installation method considering the result of the hydrodynamic analysis is derived, and a prototype of the acoustic window corresponding to the hull shape is manufactured. The acoustic window was confirmed to be applicable through the measurement of mechanical properties (such as ultimate strength test, through nondestructive testing) and sound transmission loss. In addition, it was confirmed that the required performance of the underwater telephone was satisfied by the performance test of the MTB with the acoustic window. This paper is meaningful as the first case in which an underwater telephone sensor is installed separately in a catamaran naval vessel with an acoustic window.

**Keywords:** Catamaran, Underwater telephone, Transducer, Acoustic window, Transmission loss

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

우리 해군은 해상훈련(전자전 훈련, 대공유도탄사격 훈련, 대함사격 훈련, 잠수함 어뢰발사 훈련 후 훈련어뢰회수)을 전담하여 지원하는 다목적훈련지원정(Multi-purpose Training Boat; 이하 MTB)을 획득하였다. 이 MTB에는 제한적인 건조비용 대비 최대의 효과를 얻기 위하여, 동급 단동선형보다 넓은 갑판을 가진 쌍동선(Catamaran)형을 채택하였다[1]. MTB는 수상함과 원활한 통신을 위하여 HF, VHF, UHF 무선통신기를 탑재하였다. 특히 지원정으로서의 최초로 수중함과의 원활한 음성 및 데이터 통신을 위해 수중통신기(Underwater Telephone; 이하 UT)를 탑재하였다[2]. UT는 단동선형에 설치된 것과 달리 쌍동선형에 적용함에 있

어 설치방법과 설치위치 결정에 어려움이 많았다. Figure 1 (a)와 같이 단동선형은 선저 중심의 돛 내부에 트랜스듀서(Transducer; 이하 TR)를 설치하여 운용하고 있으나, 쌍동선형은 Figure 1 (b)처럼 한쪽 선저나 중심부에 설치하기가 어려웠다. 따라서, 쌍동선형에 대한 TR 설치방법 연구가 필요하였고, 설치방법 변경에 따른 설치위치가 고려되어야 하였다. 또한, TR 보호를 위해 별도의 음향창(Acoustic Window)이 필요하였다. 따라서, 본 연구에서는 해군 최초로 쌍동선형에 UT를 설치하기 위한 방법과 UT의 신뢰성을 확보할 수 있는 설치위치를 제안하고, UT TR 보호를 위한 음향창의 성능과 UT의 운용 성능 검증을 목적으로 한다.

### 1.2 연구 내용 및 구성

본 연구는 쌍동선형 함정에 UT를 설치하기 위한 2가지

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3472-8476>): Senior Researcher, Naval Sea Systems Center 1st Team, Defense Agency for Technology and Quality, 46, Gwangil-ro 67 beon-gil, Suyeong-gu, Busan 48250, Korea, E-mail: orlando5574@gmail.com, Tel: 051-750-2518

1 Senior Researcher, Naval Sea Systems Center 2nd Team, Defense Agency for Technology and Quality, E-mail: kyulyong@hanmail.net, Tel: 052-202-0065  
2 Researcher, Naval Sea Systems Center 1st Team, Defense Agency for Technology and Quality, E-mail: sionyim@dtq.re.kr, Tel: 051-750-2512  
3 Researcher, Naval Sea Systems Center 3rd Team, Defense Agency for Technology and Quality, E-mail: powerzeus@dtq.re.kr, Tel: 055-734-6676  
4 Assistant Senior Design Engineer, Defense Projects Outfitting Design Team, Hanjin Heavy Industry, E-mail: hew2013@hanjinsc.com, Tel: 051-410-8102

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

방법을 제시하고, 제시된 방법을 선체저항에 따른 함속변화와 같은 기본성능에 미치는 영향을 분석하여 최적의 설치방법을 선정하였다. 또한 기존의 UT 음향창은 원제작사(ELAC사, 독일)에서 성능검증 후 입고, 설치되고 있어 국내에서의 음향창에 대한 성능검증 실적이 없었다. 따라서, 음향창에 대한 성능검증을 위한 시편시험 방안을 제시하였고, 시험결과 요구된 성능 기준을 만족함을 확인하였다. 이후 음향창을 쌍동선 선형에 맞게 제작, 부착하였고, UT의 전기적, 음향적 특성을 확인하기 위하여 성능시험을 수행하여 출력, 기능 및 최대통신거리 등을 확인하였다.

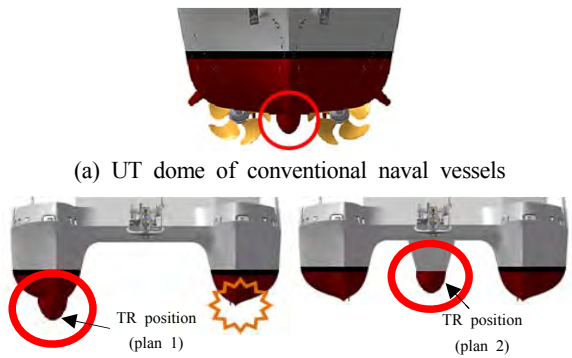


Figure 1: Installation of UT transducer

## 2. 이론적 배경

### 2.1 UT

최근의 수중 통신 시스템에 있어서 보다 멀리, 많은 양의 정보를 빠르게 전송하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 수중 통신용 트랜스 듀서는 수중 통신의 신호전송 방식이 발전해감에 따라 광대역화가 요구되고 있다[2].

수중에서 전파되는 종파인 음파가 압축팽창을 하면서 일정부분의 에너지를 물로 빼앗긴다. Bougher's Law는 식 (1)과 같이 데시벨 형태를 취한다[3].

$$TL = -10 \text{Log}(e^{-\beta R}) = (10\beta)R \quad (1)$$

여기서  $\beta$ 는 소멸상수(extinction coefficient)이다.  $R$ 은 미터 단위의 거리이다. 흡수상수(absorption coefficient)  $\alpha$ 는  $\alpha \equiv (\beta/100)$ 과 km를 환산하면 식 (2)와 같다.

$$TL = \alpha R \quad (2)$$

여기서  $\alpha$ 의 단위는 dB/km이다. 흡수상수는 고주파일수록 보다 많은 손실을 가지게되는 주파수에 강한 의존성을 가지고 있다. 이 흡수 계수는 식 (3)에 의해서 계산될 수 있다. 여기서  $f$ 는 kHz 단위이다.

$$\alpha = \frac{0.036f^2}{f^2 + 3600} + 3.2 \times 10^{-7} f^2 \quad (3)$$

해군에서 사용하는 UT는 약 1kHz에서 60kHz의 초음파를 사용하고 있으며, 음파와 전기적 신호를 변환하기 위하여 TR을 사용한다. UT의 운용 개념은 송·수신 제어장치를 통하여 TR과 송조원간에 헤드셋, 마이크로폰, 모스키의 인터페이스가 구성된다[4]. 초음파 TR은 고체 에너지를 가했을 때 결정 결면에 전기적 분극이 일어나는 현상인 압전효과를 이용하여 음파를 발생시킨다. 전기적 에너지가 진동에너지로 변환되고 다시 음향에너지로 변환되어 송신되며, 수신은 그 반대의 과정을 거쳐서 쌍방 통신이 가능하다.

### 2.2 음향창(Acoustic Window)

음향창은 수중센서를 보호하고 음향투과손실을 최소화하여 시스템의 신뢰성을 보장하는 데 사용된다. 함정에서는 소나(SONAR, SOund Navigation And Ranging) 및 UT에 적용되며, GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic, 이하 GRP) 재질이 사용된다. GRP는 해수와 임피던스가 유사하고 기계적 성질이 좋으며, 단순한 형상으로 제작이 용이하여 수상함 및 수중함에 널리 사용된다. GRP 음향창 제작과정은 소재준비, 소재적층, 소재성형, 탈형 및 가공의 순으로 이어진다. 가공이 완료된 후 적층 내부에 기포 생성여부를 확인하기 위하여 비파괴 검사를 수행한다. Figure 2는 적층된 소재 내부 기포에 의한 산란을 나타낸다.

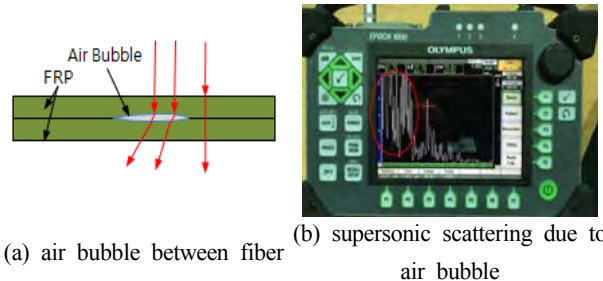


Figure 2: Supersonic scattering due to air bubble

### 2.3 음향투과시험

음향투과시험은 시험수조에서 음원발생장치(Projector)에서 방사되는 음원이 음향창을 통과하여 수중청음기(Hydrophone)를 통해 수신될 때, 음향창이 없을 때와 있을 때의 수신신호를 비교하여 감쇠량을 측정하는 시험이다.

음향투과시험은 음향창 시편으로 실시하며, 시편은 함정에 설치하기 위하여 제작되는 음향창과 동일한 공정에서 제작된다. 음향투과손실(TL, Transmission Loss)은 시편이 있을 때와 없을 때의 음압 신호의 비로 나타낼 수 있으며, 식 (4) - 식 (6)[5]으로 계산할 수 있다. 식 (6)에서  $\theta$ 는 음파의 입사각을 나타낸다.

$$TL = \frac{V_T(\text{voltage with prototype})}{V_T(\text{voltage without prototype})} \quad (4)$$

$$TL_{dB} = -20 \log \frac{\Sigma V_T(Transmit)}{\Sigma V_T(Reference)} \quad (5)$$

$$\overline{TL}_{dB} = \frac{\int_0^{\theta} TL_{dB} d\theta^*}{\theta^*} \quad (6)$$

음향 입사 각도별 투과손실 변화에 대한 기존 실험에 의하면 2000mm × 2000mm × 20mm(가로×세로×두께) 크기의 GRP 평판 시편을 사용하여 0 ~ 50°에서 5° 간격으로 음향 투과 손실을 측정 한 결과는 Figure 3과 같다. 시편 각도 0 ~ 15° 범위(일부 주파수 10°)에서는 투과손실의 변화가 거의 없으나, 각도가 15°가 넘어서면 투과손실이 증가되는 경향을 보이다가 30° 이후에는 투과손실이 급격히 감소되며 40° 부근에서 시편 끝단 회절의 영향으로 투과손실이 다시 증가되는 경향을 보임을 알 수 있으며[6], 이 결과는 시편의 크기와 두께, 시험주파수가 동일한 조건에서 실험한 [5]의 결과와 유사한 경향으로 보임을 확인하였다. GRP 시편의 두께와 입사각에 대한 주파수별 투과손실은 15°이내의 경우는 입사각에 대한 투과손실이 일정한 경향성을 보여 본 연구에서는 시편에 대한 음향특성 시험시 입사각에 따른 전달손실 측정은 수행하지 않고, 함정에 설치요구조건으로 관리하였다.

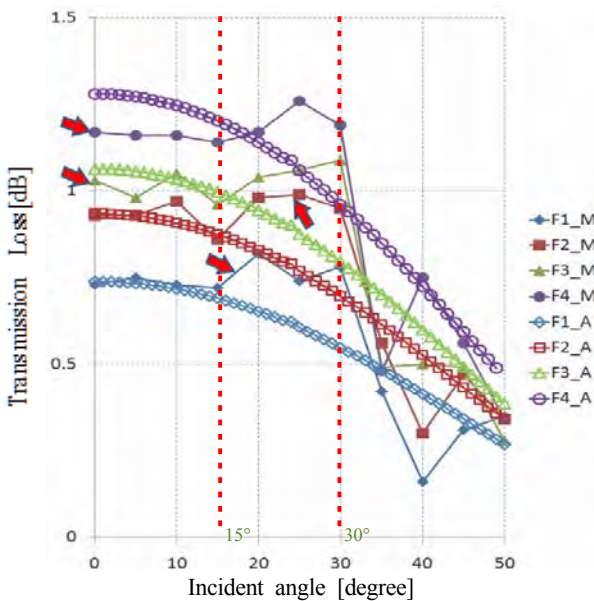


Figure 3: Acoustic transmission loss due to incidence angle [5]

### 3. UT 설치요구조건

#### 3.1 함정 최대속력 만족

MTB는 정급에 해당하는 소형 쌍동선으로 연안 레저용 쌍동선의 선형결정에 적용했던 개념설계 단계에 따라 선형 해석을 수행하였다[7]. 선체에 작용하는 저항성분은 공기저항을 제외하면 마찰저항 및 조파저항이 높을 것으로 예상

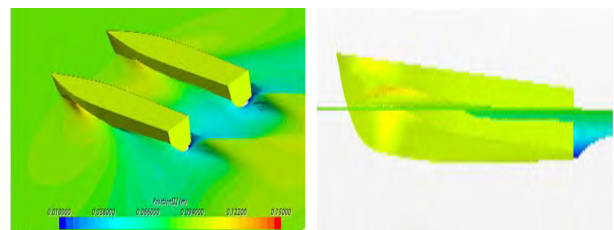
되며, 함속의 증가에 따라 해수면의 조파저항이 전저항에 차지하는 비율이 높아지므로 해석을 위하여 수면하에 해석 격자를 밀집시켰다. 선체 저항을 전산유체해석(CFD, Computational Fluid Dynamics)을 이용해 분석하였으며, 상용 해석 프로그램인 STAR CCM+를 사용하였다. 설치되는 TR과 선체 사이의 단차는 없는 것으로 가정하여 나선상태의 선형을 기본으로 모델링하였다. Table 1은 해석에 이용된 MTB의 주요 변수 및 입력 값을 나타낸다.

Figure 4의 해석결과를 보면 MTB는 쌍동선이므로 Figure 4 (c)와 같이 선체 안쪽으로 형성되는 조파간섭인 V형 파형이 나타난다. 쌍동선형은 V형 파형의 생성이 늦을수록 조파에 의한 저항 영향이 낮아지는 특성이 있다. 만재상태를 가정했을 때 최대부하에서 2기의 2,985 HP water jet으로 가능한 최대속력은 24.118 kts로 계산되었다.

Figure 5는 해석된 최대속력을 나타낸다. water jet 방식을 적용하므로 계산시 사용된 추진효율 및 축전달효율은 추진기 제작사에서 제공받은 데이터를 준용하였다. 해석에 의한 최대속력은 24.19 kts가 예측되었다.

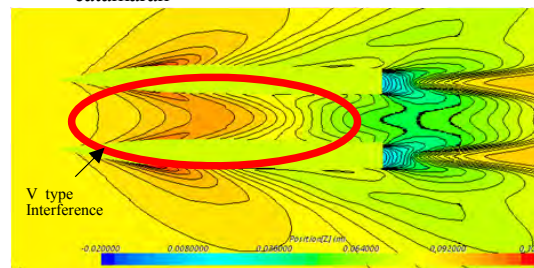
Table 1: Parameters of simulation

Parameters	Values
Fresh Water Tank Temperature	10.00[°C]
Standard Temperature	15.00[°C]
Fresh Water Tank Density	999.6[kg/m <sup>3</sup> ]
Sea Water Tank Density	1025.89[kg/m <sup>3</sup> ]
Fresh Water Tank Kinematic Viscosities	1.3063e-6[m <sup>2</sup> /s]
Sea Water Tank Kinematic Viscosities	1.1883e-6 [m <sup>2</sup> /s]
Scale	21.5:1



(a) pressure distribution of catamaran

(b) wave front (port side)



(c) wave front (top side)

Figure 4: Result of catamaran surface pressure simulation

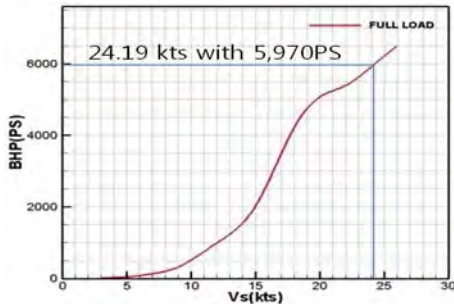
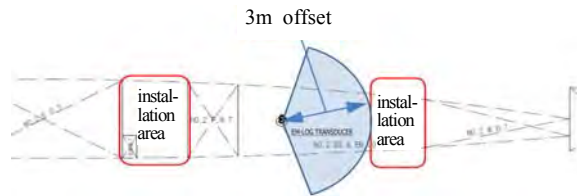


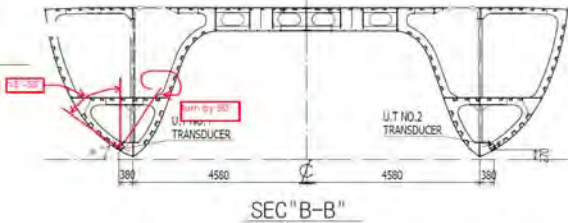
Figure 5: Simulated Max. speed without acoustic window

### 3.2 TR 지향각 및 센서간 거리 이격 만족

UT 원제작사는 TR의 음향 지향각 확보를 위하여 함 수직방향으로 15° ~ 30°를 유지하여 선체에 부착하고, TR에 영향을 줄 수 있는 측심기, 함속계 등의 수중 센서와 3m 이상의 거리 이격을 Figure 6과 같이 요구하였다[8].



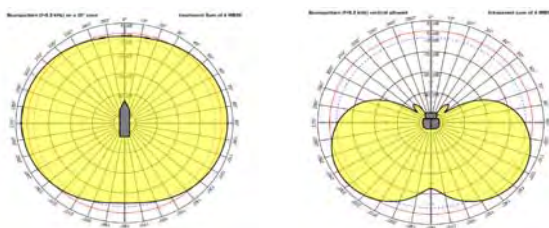
(a) transducer installation feasible position due to isolation with echo sounder



(b) elevation angle for transducer installation

Figure 6: Requirement for arranging of transducer

Figure 7은 주요 운용 주파수인 9.5kHz에서의 Figure 7 (a) 수평, Figure 7 (b) 수직에 대한 음향 방사패턴을 나타낸다. 15° ~ 30°의 각도로 선체 함수·미 좌·우현에 분리 부착했을 경우 함정기준으로 360°에 대하여 송·수신이 가능함을 알 수 있다. 특히, 고각 방향의 방사패턴을 볼 때 잠수함과의 통신도 가능할 것으로 해석 상 확인하였다.



(a) horizon (b) elevation  
Figure 7: acoustic radiation patterns

### 3.3 기타 설치 위치 고려사항

분리된 TR을 보호하고 함정 소음으로 이격시키는 위치를 선정하고자 설치위치에 대하여 세부적으로 분석한 결과 Table 2와 같은 설치위치 고려사항이 도출되었다.

Table 2: Design considerations for installation position

Position	Design considerations
Engine Room	Noise radiating area
Fuel Tank	difficulty for repair, contamination, sensor insulation degradation
Fresh water tank	difficulty for repair, contamination, sensor insulation degradation
Ballast Tank(Bow)	Cramped installation area for TR at MTB
Water Jet	Noise radiating area

### 3.4 음향창 요구조건

#### 3.4.1 기계적 성능 요구조건

MTB의 선체는 알루미늄 합금인 A5086-H116으로 제작되었으며, 선체에 볼트를 이용하여 음향창을 설치됨에 따라 선체와 비슷한 기계적 성능이 요구된다. 또한 음향창 적층 내부 기포에 의한 산란을 방지하고자 기포 생성여부를 비파괴 검사 및 육안으로 확인이 필요하다. ASTM A5086-H116에 따르면 항복강도(Yield Strength)는 120 ~ 210 MPa, 최대강도(Ultimate Strength)는 260 ~ 290 MPa를 요구한다.

#### 3.4.2 음향 투과성능 요구조건

UT의 운용 주파수는 1kHz ~ 60kHz이며, 원제작사에서 요구한 음향투과 손실은 저주파(1kHz ~ 20kHz)에서 3dB 이하, 고주파(20kHz ~ 60kHz)에서 5dB이하이다[8].

### 3.5 성능시험 요구조건

쌍동선형에 UT가 설치되면서 기존 설치방법과 다르게 음향센서가 서로 떨어져 다른 위치에 설치된다. 따라서 실선 설치 후 전체 TR의 기본 성능이 정상적으로 발휘되는지 검증하고, 해상시험을 통해 UT 성능의 정상 작동 여부 및 원거리 통신 도달여부 등 UT 운용에 적합한지 성능검증이 필요하다.

## 4. 음향창 시편제작 및 실험

### 4.1 음향창 사양

MTB의 UT TR 음향창은 수상함의 센서에 적용한 실적이 있는 GRP를 적용하였다. UT 원제작사인 ELAC사에서는 음향창의 두께를 6mm로 제안하였다. 선체의 두께와 단동선형 4개 유형의 실적 함정의 UT 돔의 두께 10mm를 고려하여 음향투과성능에 미치는 영향은 크지 않다고 판단되어 두께 10mm로 잠정 결정되었으나, 원제작사에서 요구한 음향창 두께보다 4mm 두꺼워져 운용주파수 중 고주파수에서



투과손실이 우려되어 시편시험으로 투과손실 확인이 필요하였다. 또한 선체와 음향창간 선체 외면 두께 차이에 의한 와류저항 발생에서 비롯되는 함속 저하[9], 와류에 의한 유동소음이 내부로 전달되는 음향간섭[10], 음향창 Bolt 체결 시 체결부 강도, 작업 용이성 등을 고려하여 음향창의 두께를 결정하였다.

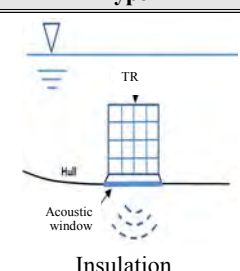
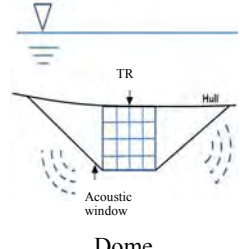
4.2 설치방법 분석

4.2.1 매립형

TR을 Table 3의 첫 번째처럼 선체 내부에 설치하므로, 일반 해군함정의 UT와는 다르게 4방위로의 TR 분리가 요구되었으며 수평과 수직 지향각 확보를 위하여 함수, 함미, 좌현, 우현으로 배치가 필요하였다. 선체와의 부착 각도를 원제작사 요구사항에 만족하도록 하기 위하여 선체 내부에 TR을 각도 요구조건 범위인 15° 각도로 설치하고 선체외부에는 별도의 음향창을 설치하는 방안으로 검토하였다.

매립형은 TR 앞쪽에 음향창이 별도로 부착되어 외부 충격에 의한 센서 보호가 가능하다. 그러나, 별도의 음향창이 추가되어 음향간섭이 예상되어 시편시험을 통한 성능 검증이 필요하다.

Table 3: Analysis of installation plan

Type	Analysis
 <p>Insulation</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No additional hull resistance</li> <li>- More acoustic transmission loss vs. dome type</li> <li>- More safe vs. dome type against external shock</li> <li>- Need to install TR by hull side for horizon beam pattern</li> </ul>
 <p>Dome</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Additional hull resistance</li> <li>- Better horizon &amp; elevation beam pattern</li> <li>- possibility of external shock</li> <li>- difficulty of installation for catamaran</li> </ul>

4.2.2 돌출형

돌출형은 Table 3의 두 번째처럼 TR의 지향각을 확보하기 위하여 함 외부에 설치하는 방법으로, 4개의 센서로 분리 설치하는 방안은 매립형과 같으나, 센서가 함 외부로 돌출되므로 비 유선형 음향창이 설치되는 방법이다. 음향센서의 크기를 고려하여 비 유선형 음향창은 Figure 8과 같이 모델링하여 선체 저항을 예측하였다.

Figure 8 (a), Figure 8 (b)와 같이 유선라인을 보면, 돌출부에 의해 해수의 흐름이 매끄럽게 이어지지 못하는 것을

알 수 있으며 Figure 8 (c), Figure 8 (d)와 같이 돌출부 끝단에서 음압이 형성되는 것을 알 수 있다. CFD로 최대속력을 해석한 결과는 Figure 9에서 나타난다. 음향창 돌출부로 인하여 최대속력은 CFD 해석결과 23.76kts가 예측되었다. 이는 함속에 대한 기본성능 요구조건 불만족으로 선체외부로 돌출되는 돌출형은 적용이 불가하였다.

4.2.3 설치방법 종합

UT TR의 설치 위치는 Table 4에서 요구한 설치 고려사항과 센서 설치 공간여부, 선체 선형을 반영하여 Figure 10과 같이 매립형으로 결정하였고 3.3에서 분석한 설치위치를 이용하여 MTB에 설치하였고, 설치된 TR와 음향창을 이용하여 UT의 성능을 5장에서 검증한다.

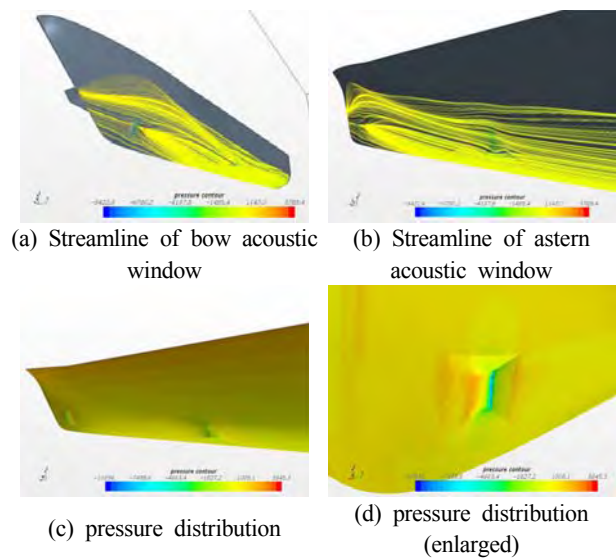


Figure 8: Streamline and pressure distribution of dome type

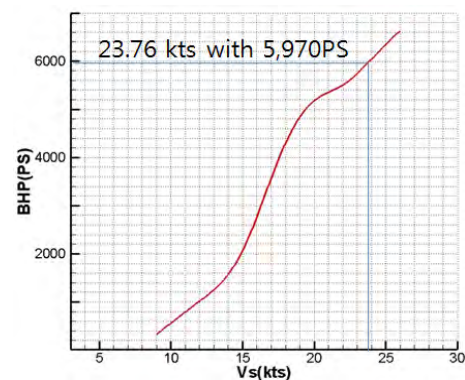


Figure 9: Max. speed analysis result of dome type

Table 4: Analysis result of installation plans

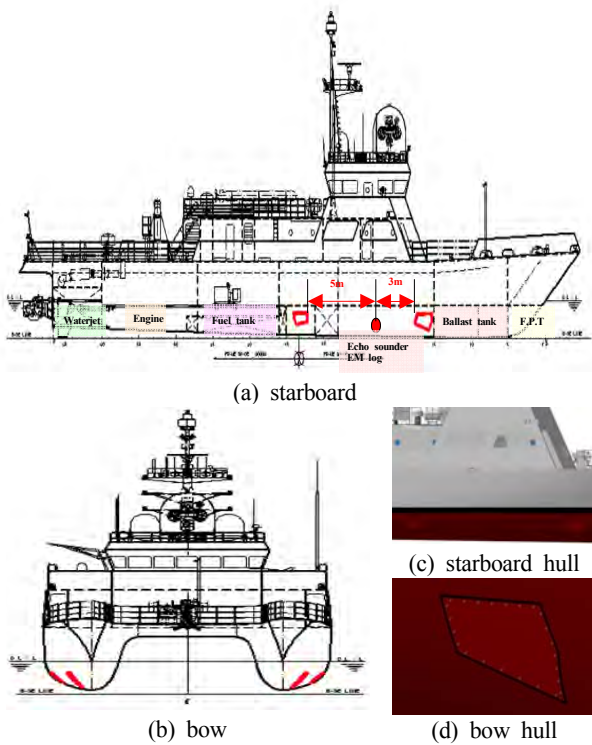
Requirements	Insulation	Dome
Max. speed	○	×
TR beam pattern & isolation with echo sounder	○	○
other considerations	○	×

## 5. 성능검증

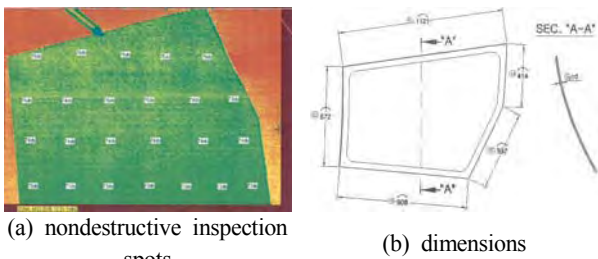
### 5.1 시편시험

#### 5.1.1 기계적 성능

MTB의 외부 선체에 설치가 됨에 따라 음향창의 형상은 **Figure 10**과 같이 곡률이 적용되었다. 음향창의 기계적 성능검증 결과는 **Table 5**에 나타나며, 음향창에서 측정된 결과는 0°에서 372MPa, 90°에서 305MPa으로 3.4.1항의 기준을 만족하였다. 음향창은 적층된 복합재로 길이방향을 0°, 가로방향을 90°로 측정하였다. **Figure 11**과 같이 약 60개소에 대해 비파괴 검사 및 육안으로 내부 기포 생성여부 확인 결과 기포는 발견할 수 없었다.



**Figure 10:** UT sensor 3D alignment(a), (b) for catamaran vessel and shape(c), (d) of acoustic window



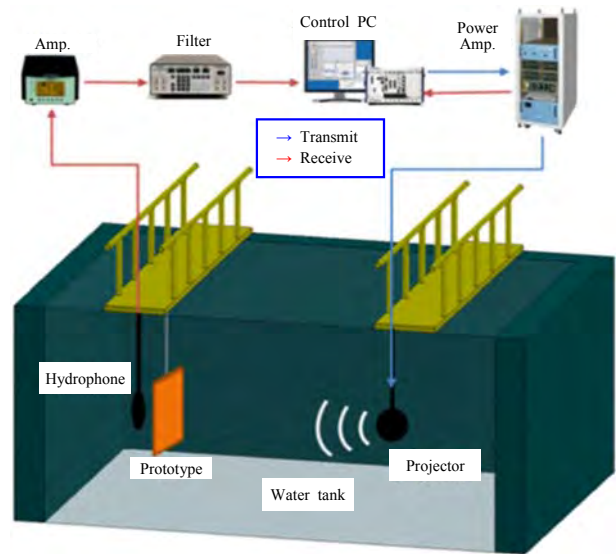
**Figure 11:** Nondestructive inspection spots and dimensions of acoustic window

**Table 5:** Verification result of mechanical & acoustic transmission loss specifications

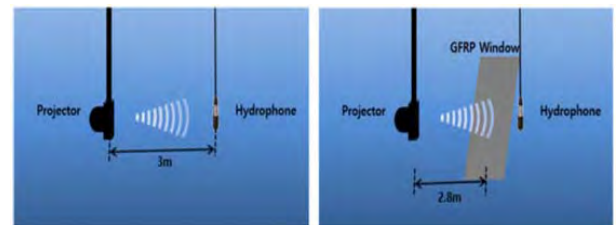
Requirements	Standard	Results	
Mechanical	Ultimate Strength	260 ~ 290 MPa	
		372 MPa (longitudinal)	
Acoustic	Transmission loss	305 MPa (transverse)	
		3dB(Low)	Satisfaction
		5dB(High)	Satisfaction

#### 5.1.2 음향투과성능

제작된 시편을 이용하여 운용주파수 대역에서 1kHz 단위로 음향투과 손실을 음향창 중심에서 측정하였다. **Figure 12 (a)**는 음향투과성능 시험 구성을 나타내며 시험방법은 2.3항과 같다. 시험에 사용된 시편은 수조의 환경 등을 고려하여 2.4m × 2.4m 크기의 10mm 두께 시편을 사용하였으며, 청음기와 projector의 깊이는 수면에서 2.2m 깊이에 설치하였다. 실험 수조의 크기는 길이 18m, 폭 10m, 깊이 5m 이다.



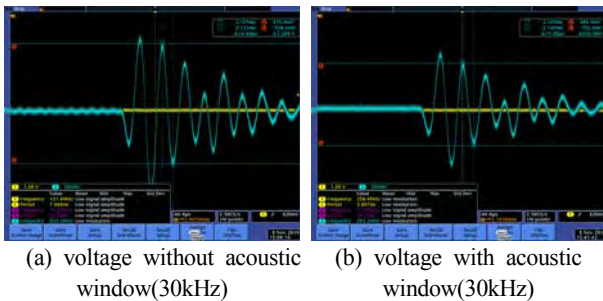
(a) measurement setup



(b) without window (c) with window  
**Figure 12:** Measurement setup for checking sound transmission loss

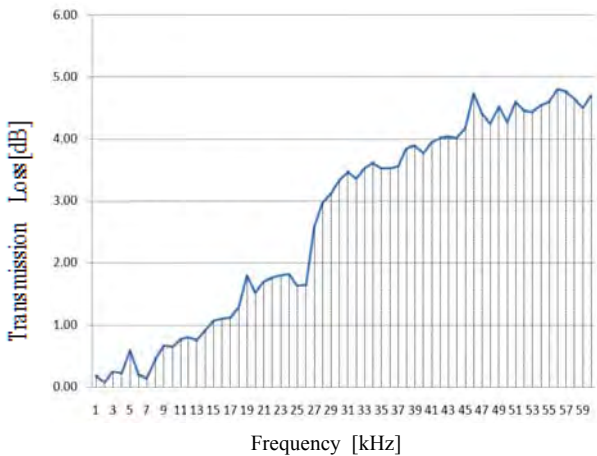
GRP 복합재의 음향투과성능 계측을 위해 청음기와 projector의 거리를 3m로 유지하여 참조 음향 신호를 측정하고, 실제 MTB에 설치되는 음향센서와 음향장 사이의 평균 거리인 0.2m를 반영하여 청음기와 Projector 사이에 청음기에서 0.2m 떨어진 곳에 GRP를 설치하여 투과 음향 신호를 측정하였다. Figure 13 (a), Figure 13 (b)는 음향투과성능 시험 시 측정된 참조파와 투과파의 일부 데이터이며, 전대역의 시험 결과를 Figure 13 (c)와 같이 종합하였다.

시험 결과 저주파 대역에서의 최고 투과손실은 19kHz에서 1.79dB 이며, 고주파 대역에서의 최고 투과손실은 56kHz에서 4.8dB 로 3.4.2항의 요구조건을 만족한다. 식 (2), (3)에 의해 음파는 주파수가 높을수록 감쇄율이 높는데 시험결과에 의하면 주파수가 높을수록 투과손실로 감쇄가 커지는 경향을 보이므로 시험은 올바른 방향으로 진행되었다고 할 수 있다. 26~27kHz 구간에서 음향투과손실이 급격히 증가하는 원인을 주파수별 projector 교체에 따른 실험조건 변경으로 추측하였으나, projector가 1~19kHz, 20~49kHz, 50~60kHz로 3종류를 사용하였고, Hydrophone은 1~60kHz 1종류를 사용하였으므로 불연속 구간과는 다소 차이가 있어, Figure 2 (a)에서 보이는 것처럼 FRP 시편 제조공정의 특성으로 인한 오차범위 내의 성능 불균일 부분과 측정오차로 인한 것으로 판단하였다.[11]



(a) voltage without acoustic window(30kHz)

(b) voltage with acoustic window(30kHz)



(c) total acoustic transmission loss due to acoustic window  
Figure 13: Measurement result of acoustic transmission loss due to acoustic window

## 5.2 성능시험

### 5.2.1 기본 성능시험

설치된 각 TR별 전압, 전류, 절연 등을 측정하여 기준을 만족하는지 확인하였다. 측정 기준 만족은 해당 TR가 장비 운용에 문제없도록 정상적으로 설치되었다는 것을 의미한다. 측정 결과를 실적 함정의 결과[12]를 토대로 Table 6과 같이 비교한 결과 실적함정의 성능과 동등함을 확인할 수 있었다.

### 5.2.2 운용 성능시험

운용 성능시험은 해상 환경에서 UT가 원활히 작동하고 운용 성능을 만족하는지 확인하는 시험이다. 원활한 성능 측정을 위해 시험 조건은 너울 3m 이하, 우천 날씨 제외 및 수심 50m 이상 구역으로 정속상태를 유지하였다. 풍속 3.1knot, 수온 14℃를 유지하였다. 확인한 UT의 주요 기능은 Telephony, Telegraphy, Digital, Pinger, Emergency 등 5가지이며 수중통신기 콘솔화면에 표시된 기능의 상태정보와 사용자가 송·수신한 음성의 감명도를 5단계 기준으로 확인한 결과 3단계 이상으로 Table 7과 같이 양호하였다[13]. 다만, 해상 운용 성능시험에 대한 평가 기준은 다소 정성적으로 평가자의 개인적 오차에 따라 결과가 달라질 소지가 있으므로, 추후 정량적인 평가가 가능하도록 관련기관의 검토를 거쳐 수정, 보완할 필요가 있다.

실선 시험 시 상대함정을 상대국으로 지칭하며 Figure 14 (a)와 같이 두 함정이 상호 이동, 거리를 단계적으로 늘려가며 시험을 실시하였다. 또한 Figure 14 (b)와 같이 MTB의 방향의 주기적 선회를 통해 음향 지향각에 대한 확인도 병행하였다. 쌍둥선형 수중통신 거리 측정결과 7NM까지 송/수신상태가 양호하였다. 단, 실적함의 경우 원거리 도달거리 기준이 10NM 이며, 개발함정인 본 쌍둥선형 MTB는 별도의 도달거리 기준이 확정되어 있지 않다. 함미방향으로 배치된 음향센서의 경우 음향 효율이 저하되는 현상이 발견되었는데 기관실 등 주 소음구역의 소음 노이즈 영향인 것으로 추정된다.

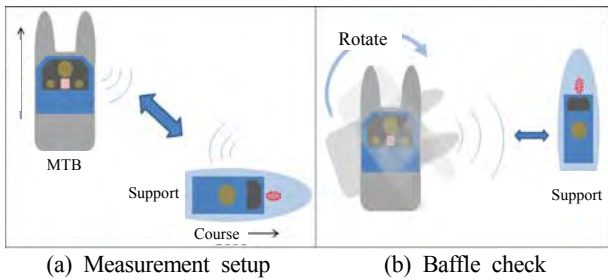
Table 6: Function test results

Functions	Standard	Results		
		MTB	Former ship	
TR	LF 1	Insulation more 10Ω	∞	more 550Ω
	HF 1~4		∞	more 550Ω
	LF 1	Output voltage 50V~65V	61.2V	61.8V
	HF 1~4		61.6V	58.8V~60V
Anti-icing heater electric current	170mA~340mA	266mA	240mA	
transmit mode electric current	under 30A	11.35A	28A	
Pinger PRT	1~60s	Satisfaction	Satisfaction	
Pinger PW	1~999ms	Satisfaction	Satisfaction	
total		Satisfaction	Satisfaction	



**Table 7:** Sea acceptance trial results

Functions		Results	
		MTB	Former ship
Telephony	Message transmit/receive	Satisfaction	Satisfaction
Telegraphy			
Pinger	receive other pulse		
Emergency	transmit/receive SOS call procedure		
Digital	transmit/receive Text		



**Figure 14:** Diagram of sea trial

## 6. 결론

본 논문은 쌍동선용 UT 설치방법 선정을 위해 UT 및 음향장의 선체내 설치 여부에 따라 설치방법을 매립형과 돌출형으로 제시하였으며, 각 구분에 따른 함의 기본성능에 미치는 영향 분석을 거쳐 적합한 설치방법으로 매립형을 선정하였다. 또한 선체 선형, 관련 규정 등을 고려하여 함수/함미로 이격하여 TR 설치위치를 선정하였다. 음향장의 성능 검증 방안으로 기계적성능 및 음향투과성능 시험을 제시하였고, 시편 시험을 통해 성능기준을 만족함을 검증하였다. 실선 적용 후 해상시운전을 통해 UT 성능이 운용조건을 만족함을 확인하였다. 최초로 UT를 쌍동선형에 적용 및 운용하는 이번 사례에 대한 연구를 통해서 추후 쌍동선형을 채택하는 해군 사업 진행시 참고 할 수 있는 실적 자료로 활용함에 따라 해당함정의 UT 설치방법 및 위치 분석에 필요한 비용 및 시간 등을 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 UT 음향장 성능 검증 방법의 기준이 될 것으로 판단된다.

## References

[1] B. J. Kim, S. Y. Kwon, S. C. Kim, and J. H. Lee, "Comparison study and structural analysis to investigate the design rule and criteria of catamaran," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, vol. 48, no. 6, pp. 479-489, 2011 (in Korean).  
 [2] K. W. Lee, H. J. So, S. M. Lim, W. H. Kim, and W. H. Cho, "A study of a wideband acoustic trans-

ducer for underwater communication using 1-3 type piezoelectric transducer," *Journal of Ocean Engineering and Technology*, vol. 22, no. 2, pp. 65-71, 2008 (in Korean).  
 [3] W. Y. Hong, S. M. Jeong, S. Y. Lee, and W. C. Oh, *Naval Weapons Systems Engineering*, Sejong, 2011.  
 [4] WÄRTSILÄ, *Brochure of ELAC UT 3000*, 2016.  
 [5] W. J. Jung, S. J. Han, W. H. Kim, K. K. Shin, and J. J. Jeon, "A study on the measurement and analysis method for the acoustic transmission loss of the material for the acoustic window of sonar dome," *Transaction for the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, vol. 16, no. 7, pp. 729-738, 2006 (in Korean).  
 [6] M. W. Kang, Y. S. Seo, K. K. Shin, and J. J. Jeon, "Acoustic performance study of FRP acoustic window," *Transaction for the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, vol. 21, no. 10, pp. 890-896, 2011 (in Korean).  
 [7] B. K. Kim, H. M. Kim, J. W. Oh, Y. K. Ahn, and K. W. Lee, "Hull design on small catamaran leisure boat," *Conference of the Korean Society of Marine Engineers*, pp. 227-228, 2009 (in Korean).  
 [8] HHIC, *Drawing, Arrangement & Details of Underwater Telephone*, 2016.  
 [9] O. S. Kim, W. J. Oh, C. B. Shon, and G. W. Lee, "On the variation of the boundary layer as hull surface roughness," *Journal of Navigation and Port Research*, vol. 34, no. 6, pp. 429-434, 2010 (in Korean).  
 [10] K. K. Shin, Y. S. Seo, M. W. Kang, and J. J. Jeon, "The influence of design factors of sonar acoustic window on transfer function of self noise due to turbulent boundary layer," *Transaction for the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 56-64, 2013 (in Korean).  
 [11] Y. S. Seo, M. W. Kang, K. K. Shin, and J. J. Jeon, "Acoustic performance study of FRP acoustic window," *Transaction for the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, vol. 21, no. 10, pp. 890-896, 2011 (in Korean).  
 [12] DSME, *ATS-II Function and Performance Test*, Harbour Acceptance Trial Test Memo, 2013.  
 [13] DSME, *ATS-II UT T/R Sensitivity Measurement Test*, Sea Acceptance Trial Test Memo, 2013.